한국산업위생학회지 제16권 제2호(2006년 6월)
J Korean Soc Occup Environ Hyg 2006;16(1):183-192

생산직 남성근로자의 작업 중 에너지 소모량

우지훈[1] · 강동묵[1†] · 신용철[2] · 김명옥[1] · 손민정[1] · 김부욱[2] · 이수일[1] · 조병만[1]

[1]부산대학교 의과대학 예방 및 산업의학교실 · [2]인제대학교 보건안전공학과

Energy Expenditure of Male Blue Collar Workers

Ji Hoon Woo[1] · Dongmug Kang[1†] · Yong Chul Shin[2] · Myeong Ock Kim[1] · Min Jung Son[1] · Boo Wook Kim[2] · Byung Mann Cho[1] · Su Ill Lee[1]

[1]Department of Preventive and Occupational Medicine, College of Medicine, Pusan National University
[2]Department of Occupational Health and Safety, Inje University

Predicting energy expenditure (EE) is important to prevent work-related musculoskeletal disorders (WMSDs). The problem to predict EE is that the standard of EE is based on western data. The authors checked average EE by job categories to provide basic data for suggesting proper work intensity for Korean workers. This study was conducted from 2003 to 2005. Study subjects were recruited from 4 car parts assembly plant, 2 car assembly plant, 2 Heavy machine manufacturing plant and 2 shipyards. Total study subjects were 515 male workers. To estimate VO2max, sub-maximal test was conducted to measure VO275%max by bicycle ergometer (Combi Co, Aerobike 75XL II). Heartbeats were recorded with heartbeat recorder (Polar Electro Co, Finland, S810) during work. EE of work was calculated by recorded heartbeat and individual regression equation which was derived from sub-maximal test. Subjects were classified into 4 industry and 8 work posture, 23 job task categories. Mean EEs (S.D.) according to industry classification (kcal/min) were 4.9 (0.7), 4.8 (0.7), 4.9 (0.7), 5.0 (0.9), and 4.0 (0.5) for Car Part manufacture, Car Assembly, Ship Building, Heavy Machinery Manufacture, and Hospital Office, respectively. The results suggest that Korean male workers of exceeding to the NIOSH criteria will be needed to plan for job rescheduling to maintain worker°Øs health. Further study to establish Korean work intensity standard would be needed.

Key Words : energy expenditure, heart rate, workload

Ⅰ. 서론

작업시간과 작업관련성 근골격계 질환의 유병율은 관계가 있으며(Guo, 2002) 작업강도는 작업관련성 근골격계 질환(Work –relative Musculoskeletal Disorders: WMSDs)의 원인이 된다(Cole et al, 1994). 또한 과도한 작업강도는 고혈압이나

본 연구는 사단법인 한국노화연구소 연구비지원에 의하여 수행되었음
접수일 : 2006년 3월 20일, 채택일 : 2006년 5월 27일
† 교신저자 : 강동묵 (부산시 서구 아미동 1–10 부산의과대학 예방의학 및 산업의학교실
Tel : 051-240-7741, Fax : 051-243-1925, E-mail : kangdm@pusan.ac.kr)

급성심장질환과 같은 뇌심혈관계 질환(Cardio－Vascular Diseases: CVDs)의 원인이 된다고 알려져 있다.(Lee et al, 2002 ; Uchiyama et al, 2005). 최근 들어 국내에서 WMSDs의 경우 산재승인건수가 1999년 410건에서 2001년 1384건, 2002년에는 1889건, 2003년에는 2906건으로 증가하였고 CVDs의 경우 2001년 1348건에서 2002년 1918건, 2003년 1951건으로 급격히 증가하여(한국산업안전공단, 2000－2004) WMSDs나 CVDs의 예방이 산업보건분야에서 중요한 문제로 부각되고 있다.

이러한 WMSDs나 CVDs를 예방하기 위해서는 작업강도를 평가하여 적정한 작업강도를 유지하는 것이 중요하다. 지금까지 작업강도를 평가하는 방법 중 보편화된 방법이 작업 중의 에너지 소모량(Energy Expenditure: EE)을 정량화하는 방법이다.

EE를 평가하는 방법은 지금까지 30여 가지가 넘는 방법이 개발되어 왔으며 7개의 주요 그룹으로 분류할 수 있다. 즉 열량측정법(calorimetry), 직무 분류법(job classification), 절차 조사법(survey procedures), 생리적인 지표를 이용하는 방법(physiological markers), 행동 관찰법(behavioral observation), 기계적이고 전기적인 측정법(mechanical and electronic monitors)과 식이 계량법(dietary measures)이다(LaPorte et al, 1985).

직무분류법은 다양한 작업을 일정한 형태로 분류하여 각각의 EE를 제시한 것이며 설문(questionnaire)이나 체크리스트(checklist)의 자료로 사용하고 있다. 지금까지 직무분류법을 적용하여 작업별 EE를 제시한 연구로 미국국립산업위생전문가협의회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists: ACGIH)는 작업 대사량에 따라 작업강도를 경작업(light work), 중등도 작업(moderate work), 심한 작업(heavy work) 세 가지로 구분하여 작업에 따른 대사량을 표로 제시하였지만 분류가 다양하지 못하다(ACGIH, 1994). 또한 Minnesota Leisure Time Physical Activity (Ainworth et al, 1993), Tecumseh Occupational Activity Questionnaire (Saris et al, 1977) 등의 설문에서 작업별로 평균적인 EE를 제시하였지만 이들의 자료는 서양인과 동양인의 육체적 능력은 차이가 있으므로(김철홍과 김태광, 1998) 한국의 작업자에게 적용하는 데는 무리가 있다. 또한 이들 체크리스트로 계산한 EE의 단위가 METs (metabolic rate)로 체중별 시간당 EE이기 때문에 NIOSH에서 제시하는 작업강도의 기준인 체중을 나누지 않은 에너지 소모량 5 kcal/min와 비교하기가 어려우며(NIOSH, 1981), 작업의 분류가 하루 전체의 작업에 대한 EE가 아니라 단위 작업에 대한 EE이기 때문에 8시간이나 10시간의 작업의 기준으로 적용하거나 작업 중의 적정 작업시간과 휴식시간을 비교하기 위한 자료로는 제한점이 많다.

국내의 한국인에 대한 육체적 작업강도에 대한 연구로는 벌목작업자(강건우와 박수규, 1996 ; 김재원 등, 1998)에 대한 연구와 자동차 조립작업자(이유정 등, 1998 ; 이준엽과 김철홍, 2001)에 대한 연구, 음료등짐 작업자(정민근 등, 2000)에 대한 연구가 있으며 특정 작업자세나 상황에 대한 연구로는 방진복 착용시 작업강도의 변화(권요경과 登倉尋實, 1998), 쪼그려 앉은 자세(이인석과 정민근, 1998), 자세에 따른 어깨 근육의 문제(김정룡 등, 1999), 작업강도의 생리적 지표(김재현과 김홍기, 2002) 등에 관한 연구가 있다. 하지만 선행된 연구는 특정 작업이나 자세에 한정되어 있어 다양한 업종에 종사하는 근로자에게 적용하기에 한계점이 많다.

따라서 이 연구는 한국인 생산직 근로자의 업종별, 자세별, 주요 작업별로 작업 중의 에너지 소비량을 측정하고, NIOSH의 작업강도 기준과 비교하여 초과되는 작업을 찾아내어 작업강도의 중재를 위한 기초자료를 제공하고자 실시하였다.

Ⅱ. 연구방법

1. 연구대상 및 설문조사

2003년 5월부터 2005년 9월까지 경남, 충남, 부산, 울산에 소재한 제조업 사업장 중 산업안전보건법에 따른 근골격계 유해요인조사에 참여한 전국의 생산직 515명의 남성 근로자를 대상으로 조사를 실시하였다. 연구 참가자는 대상 업체를 대표하는 각 공정에서 3명 이상의 작업자를 선별하였고, 조사 기간 중 통증이나 연구결과에 영향을 미칠 수 있는 질환을 가지고 있거나, 비정형적인 작업 특성상 조사를 하는 날에 일상적인 작업을 수행할 수 없는 경우는 제외하였다. 생산직 근로자와 비교하기 위하여 병원 사무직에 종사하는 근로자를 포함하였다. 연구 참여자에게 자가기입식 설문을 이용하여 일반적 특성과 작업관련 특성을 조사하였다.

2. VO_2max의 평가

VO_2max의 평가를 위해 Miyashita 등(1985)이 타당도를 입증한 바 있는 자전거 에르고미터(Combi Co. Aerobike 75XL II ㉡, Japan)를 이용하였다. 연구 참가자는 평가 최소 30분전에 심박수에 영향을 미칠 수 있는 커피, 흡연, 과격한 운동 등을 금하게 하고 최소 20분 동안 안정을 취하게 하였다. 피실험자는 자전거 에르고미터에 앉아 귓볼에 심박수 센서를 부착하였다. 심박수 센서를 통하여 현재의 심박수가 감지되기 시작하면 피실험자의 기본 정보로 성별, 나이, 체중을 입력하고 실험이 시작되면 피실험자는 자전거 에르고미터의 신호음에

따라 페달링을 시작하였으며 자전거 에르고미터에서 부하가 점차적으로 증가하더라도 페달링의 속도는 동일하게 유지하도록 하였다. 실험이 끝나면 내장된 프로그램이 자전거 에르고미터에서 증가시킨 부하와 피 실험자의 심박수의 증가의 선형관계를 이용하여 $VO_2$75%max (l/min), $VO_2$75%max (l/min/kg), VO_2max (l/min/kg)과 PWC75%HRmax (w)를 계산하였다.

3. 작업 중 심박수의 기록

작업 중의 심박수를 기록하기 위하여 심박동수 측정기 (Polar Electro Co, S810, Finnland)를 이용하였다. 피 실험자의 하루 작업 시작 전에 연구자가 실험의 목적과 심박동수 측정기의 기능, 주의 사항을 설명하며 심박동수 감지장치를 부착하고 저장장치를 손목에 착용하도록 하였다. 피 실험자에게는 작업일기를 배부하여 조사 당일의 작업과 휴식시간, 심박수에 영향을 미칠 수 있는 특이 상황과 시간을 기록하게 하였다. 피 실험자는 심박동수가 정상적으로 감지되고 기록되는지를 확인한 후 작업에 복귀하도록 하였다. 하루 작업동안 심박동수를 기록 한 후 심박동수 측정기를 수거하여 피실험자와 함께 기록된 결과를 컴퓨터로 확인하며 그날의 작업과 특이사항을 재검토 하였다.

4. 육체적 작업 능력과 에너지 소모량의 계산

자전거 에르고미터의 목표심박수를 이용하여 피실험자의 최대심박수를 계산하고 조사일에 기록된 심박동수 중 휴식시간 중에서 안정된 심박수를 안정심박수로 적용하였다. 피 실험자의 최대심박수, 안정심박수, 목표심박수와 자전거 에르고미터 결과 중의 $VO_2$75%max (l/min)일 때의 심박수와 VO_2max (l/min)일 때의 심박수를 이용하여 심박수당 산소소모량을 계산하였다. 작업 중 기록된 심박수 중 작업과 관련 없는 시간의 심박수는 제외하고 순수 작업의 심박수를 이용하여 평균 심박수를 계산하였다. 계산된 작업 중 평균 심박수에 자전거 에르고미터로 얻어진 피 실험자의 심박수당 산소소모량을 작업 중 평균 심박수에 곱하고 산소 1 ℓ 당 5kcal의 에너지를 소모한다는 점을 이용하여 작업 중의 EE를 예측하였으며 계산식은 다음과 같다.

5. 에너지 소모량 비교

사업장 업종별로 크게 자동차 부품 제조업, 완성차 조립업, 선박제조업, 대형 기계제조업, 병원 사무직으로 분류하였다. 작업 중의 자세를 ILO (International Labour Office)의 여유율 계산식에서 사용하는 자세 분류에 따라 편하게 앉아있음, 불편한 자세로 앉거나 편하게 서있음, 서있거나 편한 자세에서 걸어 다님, 계단을 오르거나 내림, 짐을 들고 걸음, 사다리를 오르거나 내려옴/편한 자세에서 몸통을 굽히거나/펴거나/중량물을 들거나/던지기, 불편한 자세에서 몸통을 굽히거나/펴거나/중량물을 들거나/던지기/삽질하기(지속적이지 않음), 계속해서 몸통을 굽히거나/펴거나/중량물을 들거나/던지기, 무거운 공구를 이용하여 계속적으로 작업을 함(예, 곡괭이질)의 9가지의 작업으로 분류하였다. 또한 업종별로 대표 작업을 선정하여 23개 주요 작업으로 분류하였다. 각각의 분류에 따라 평균 작업 중 EE를 제시하고, 각각의 NIOSH 기준 초과자를 비교하였다.

5. 에너지 소모량 비교

각 군 간의 EE가 차이가 있는지를 검증하기 위해 t-test와 one-way ANOVA를 실시하였다. 작업자세를 분류하였을 때 NIOSH criteria를 초과하는 대상의 빈도를 비교하기 위해 χ^2 test를 실시하였다. 작업 중 에너지 소모량에 영향을 미치는 것으로 판단되는 연령과 BMI를 고려하여 선형회귀분석을 이용하여 작업자세별에 따른 에너지 소모량의 회귀식을 구하였다. 회귀식에서 자세변수는 편하게 앉아있음, 불편한 자세로 앉거나 편하게 서있음, 서있거나 편한 자세에서 걸어 다님, 계단을 오르거나 내림, 짐을 들고 걸음, 사다리를 오르거나 내려옴/편한 자세에서 몸통을 굽히거나/펴거나/중량물을 들거나/던지기, 불편한 자세에서 몸통을 굽히거나/펴거나/중량물을 들거나/던지기/삽질하기 (지속적이지 않음), 계속해서 몸통을 굽히거나/펴거나/중량물을 들거나/던지기, 무거운 공구를 이용하여 계속적으로 작업을 함(예, 곡괭이질)의 9가지의 작업을 순서대로 1부터 9까지 번호를 주어 분석하였다. SAS V9.1 (Statistical Analysis System Version 9.1, U.S.A.)을 이용하여 통계처리 하였으며, 통계학적 유의 수준은 0.05로 하였다.

$$EE\ (kcal/min) = 작업\ 중\ 평균심박수(beat/min) * 개인의\ 심박수\ 당\ 산소소모량(\ell) * 5kcal$$

$$개인의\ 심박수\ 당\ 산소소모량(\ell) = \frac{최대심박수의\ 75\%일때의\ 산소소모량}{최대심박수의\ 75\%일때의\ 심박수}$$

Ⅲ. 결과

1. 일반적 특성 및 작업관련 특성에 따른 작업 중 에너지 소모량

연구에 참여한 총 인원은 515명이었다. 연구에 참여한 대상자의 일반적인 특성과 작업관련 특성을 분류하여 각각의 EE를 비교하였다. 나이를 20대, 30대, 40대, 50대 이상으로 분류하여 비교하였을 때 네 군 간에 작업 중 EE는 유의한 차이가 있었다(p=0.0032). BMI를 저체중, 정상체중, 과체중으로 분류하여 비교하였을 때 세 개 군 간에 유의한 차이가 있었다(p=0.0216). 또한 근속년수를 5년 이하, 6년 이상 9년 이하, 10년 이상 14년 이하, 15년 이상 19년 이하, 20년 이상 24 이하, 25년 이상 으로 분류하여 비교하였을 때 각 군 간에 유의한 차이가 있었다(p=0.0114) (Table 1).

2. 주요 작업별 작업 중 에너지 소모량

Table 1. Energy expenditure according to general characteristics and work-related characteristics of the subjects

Characteristics		Number of subjects(percent)	Mean(S.D) (kcal/min)	p-value
Age (yrs)	20 - 29	3(0.6)	4.1(0.4)	0.0032
	30 - 39	265(51.4)	5.0(0.7)	
	40 - 49	195(37.8)	4.8(0.7)	
	50 - 59	53(10.3)	4.7(0.7)	
Body mass index	≤ 19.9	45(8.8)	4.8(0.8)	0.0216
	20 - 24.9	349(68.6)	4.8(0.7)	
	≥ 25	115(22.6)	5.0(0.7)	
Smoking	smoker	252(50.4)	4.9(0.7)	0.4520
	non-smoker or ex-smoker	248(49.6)	4.8(0.8)	
Alcohol drinking	non-drinking	152(30.5)	4.9(0.7)	0.8192
	drinking	347(69.5)	4.9(0.7)	
Exercise	regular	256(51.1)	4.8(0.7)	0.3504
	irregular or no	245(48.9)	4.9(0.7)	
Education (yrs)	≤ 6	4(0.8)	5.4(0.6)	0.1983
	7 - 9	42(8.8)	4.7(0.6)	
	10 - 12	377(78.5)	4.9(0.7)	
	≥ 13	57(11.9)	4.8(0.8)	
Marital status	not-married	79(16.3)	4.9(0.7)	0.8715
	married	400(82.5)	4.9(0.7)	
	others	6(1.2)	4.8(0.5)	
Shift work	no	281(61.5)	4.9(0.7)	0.0643
	yes	176(38.5)	4.8(0.7)	
Work hour/week (hrs)	≤ 40	70(13.6)	4.8(0.7)	0.1618
	41 - 50	169(32.8)	4.8(0.8)	
	51 - 60	170(33.0)	5.0(0.7)	
	≥ 60	107(20.7)	4.8(0.7)	
Job tenure (yrs)	<5	87(16.9)	4.9(0.7)	0.0114
	5 - 9	73(14.2)	4.9(0.7)	
	10 - 14	97(18.8)	5.1(0.7)	
	15 - 19	151(29.3)	4.9(0.7)	
	20 - 25	78(15.12)	4.7(0.8)	
	≥ 25	30(5.8)	4.6(0.7)	

업종별로 중요한 작업을 구분하여 분류하였다. 전체 작업은 23개 작업으로 분류되었으며 작업별 EE (kcal/min) (S.D.)는 Table 2와 같다.

3. 업종별 작업 중 에너지 소모량

업종별로 평균 작업 중 EE (kcal/min) (S.D.)는 자동차 부품 조립업이 4.9 (0.7), 자동차 조립업이 4.8 (0.7), 조선업이 4.9 (0.7), 대형기계제조업이 5.0 (0.9), 대조군으로 선정한 병원 사무직은 4.0 (0.5) 이었으며 작업 중 EE는 대형기계제조업이 가장 높았다. 업종별로 작업 중 EE를 비교하기 위해 ANOVA를 실시하였을 때 업종별로 EE는 유의한 차이가 있었다 ($p=0.0017$). 업종별로 작업 중 EE의 차이가 어떻게 분포하는지 보기 위해 Duncan의 다중비교를 사용하였다. 자동차 부품 조립업, 자동차 조립업, 조선업, 대형기계제조업과 병원의 사무직은 작업 중 EE가 다른 군으로 분석되었다 (Table 3).

4. 작업의 자세별 작업 중 에너지 소모량

전체 연구 참여자를 작업의 자세로 분류하였다. 평균 작업 중 EE (kcal/min) (S.D.)는 표 와 같다. 작업의 형태별로 작업 중 EE를 비교하기 위해 ANOVA를 실시하였을 때 작업의 형태별로 EE는 유의한 차이가 있었다 ($p=0.0001$). 업종별로 작업 중 EE의 차이가 어떻게 분포하는지 보기 위해 Duncan의 다중비교를 사용하였다. 계속해서 몸통을 굽히거나/펴거나/중량물을 들거나/던지기가 가장 높은 군이었고 다음이 불편한 자세에서 몸통을 굽히거나/펴거나/중량물을 들거나/던지기/삽질하기 (지속적이지 않음)이었다 (Table 3).

Table 2. Energy expenditure according to main task of industrial classification

	Task	Number	Mean (kcal/min)	S.D.
Car part manufacture	Steel mill	23	5.0	0.6
	Manufacture	42	4.9	0.8
	Assembly	37	4.8	0.6
	Support	6	4.6	0.9
Car assembly	Engine Assembly	37	4.9	0.6
	Press	9	4.6	0.7
	Body	7	4.0	0.2
	Painting	7	4.7	0.8
	Assembly	34	4.8	0.6
	Test	9	5.0	0.4
	Support	19	4.8	0.8
	Steel Mill	20	5.0	0.6
	Forging	5	4.4	0.7
Ship building	welding	66	4.8	0.6
	Auto-welding	18	4.9	0.6
	Setting	30	5.2	0.8
	Piping & Electrical setting	40	5.1	0.8
	Support	19	4.7	0.7
	Painting	3	4.9	0.4
	Crane Drive	5	4.6	0.6
Heavy machinery manufacture	Manufacture	18	5.0	0.9
	Assembly	52	5.0	0.8
Hospital Officer		9	4.0	0.5

Table 3. Mean energy expenditure by industry and posture classification

Number of subject, energy expenditure (mean ± SD)

Industry	Posture								
	1. Constant bending, lifting, stretching or throwing	2. Awkward lifting, shovelling ballast to container	3. Climbing up or down ladders, or some bending, lifting, stretching or throwing	4. Standing or walking with a load	5. Ascending or descending stairs unladen	6. Standing or walking freely	7. Sitting awkwardly, or mixture of sitting and standing	8. Sitting easily	Total*
Car part manufacture	4(6.0 ±0.3)	6(5.2 ±0.2)	48(5.1 ±0.8)	24(4.5 ±0.5)	26(4.6 ±0.4)				108 (4.9 ±0.7)A
Car assembly	8(5.6 ±0.5)	16(5.5 ±0.7)	54(4.9 ±0.6)	17(4.7 ±0.4)	46(4.4 ±0.4)	3(4.1 ±0.6)	3(4.0 ±0.1)		147 (4.8 ±0.7)A
Ship building	21(6.0 ±0.3)	56(5.4 ±0.3)	104(4.5 ±0.5)						181 (4.9 ±0.7)A
Heavy machinery manufacture	8(6.6 ±0.8)	21(5.4 ±0.3)	41(4.5 ±0.4)						70 (5.0 ±0.9)A
Hospital								9(4.0 ±0.5)	9 (4.0 ±0.5)B
Total**	41(6.0 ±0.6)[a]	99(5.4 ±0.4)[b]	247(4.7 ±0.6)[c]	41(4.6 ±0.4)[c]	72(4.5 ±0.4)[cd]	3(4.1 ±0.5)[d]	3(4.0 ±0.1)[d]	9(4.0 ±0.5)[d]	

*p-value measured by one-way ANOVA; 0.0017, **p-value measured by one-way ANOVA; 0.0001
AB; Duncan's multiple range test group according to type of industry, abcd; Duncan's multiple range test group according to type of posture

Table 4. Excess rate of NIOSH criteria

excess number (excess rate)

Industry	Posture							
	1. Constant bending, lifting, stretching or throwing	2. Awkward lifting, shovelling ballast to container	3. Climbing up or down ladders, or some bending, lifting, stretching or throwing	4. Standing or walking with a load	5. Ascending or descending stairs unladen	6. Standing or walking freely	7. Sitting awkwardly, or mixture of sitting and standing	Total*
Car part manufacture	4(100.0)	5(83.3)	25(52.1)	5(20.8)	3(11.5)			42(38.9)
Car assembly	8(88.9)	12(75.0)	26(48.2)	2(11.8)	0(0.0)	0(0.0)	0(0.0)	48(32.4)
Ship building	21(100.0)	55(98.2)	4(3.9)					80(44.2)
Heavy machinery manufacture	8(100.0)	21(100.0)	3(7.3)					32(45.7)
Total*	41(97.6)	93(93.9)	58(23.5)	7(17.1)	3(4.2)	0(0.0)	0(0.0)	

*p-value measured by x2 test < 0.001

5. NIOSH 기준 초과자 비교

전체 대상자 중에서 작업 중 EE가 5kcal/min 이상으로 NIOSH 기준을 초과하는 작업자는 총 202명(31.9%)이었다. 업종별로 비교해 보았을 때 NIOSH 기준을 초과하는 작업자는 대형기계가공업이 45.7%로 가장 높았으며, 자세별로 비교해 보았을 때 계속해서 몸통을 굽히거나/펴거나/중량물을 들거나/던지기가 97.6%였고 불편한 자세에서 몸통을 굽히거나/펴거나/중량물을 들거나/던지기/삽질하기(지속적이지 않음)가 93.9%로, 대부분이 기준을 초과하는 작업이었다(Table 4).

5. NIOSH 기준 초과자 비교

작업 중 에너지 소모량에 영향을 미치는 것으로 판단되는 연령과 BMI를 고려하여 선형회귀분석을 이용하여 작업자세별에 따른 에너지 소모량의 회귀식을 구하였다(Table 5). 자세는 편하게 앉아있음, 불편한 자세로 앉거나 편하게 서있음, 서있거나 편한 자세에서 걸어 다님, 계단을 오르거나 내림, 짐을 들고 걸음, 사다리를 오르거나 내려옴/편한 자세에서 몸통을 굽히거나/펴거나/중량물을 들거나/던지기, 불편한 자세에서 몸통을 굽히거나/펴거나/중량물을 들거나/던지기/삽질하기(지속적이지 않음), 계속해서 몸통을 굽히거나/펴거나/중량물을 들거나/던지기, 무거운 공구를 이용하여 계속적으로 작업을 함(예, 곡괭이질)의 9가지의 작업을 순서대로 1부터 9까지 번호를 주어 분석하였다. 최종적으로 나온 회귀식은 다음과 같다.

작업 중 에너지 소모량 = 2.823 − 0.015 × 나이 + 0.037 × BMI + 0.301 × 자세였다. 자세는 연령과 BMI를 보정하여도 통계적으로 유의한 양의 관련성을 보였다($p<0.0001$). 이는 나이와 BMI를 보정한 상태에서 자세점수가 1점 증가할 때 에너지 소모량이 0.301 kcal/min 증가함을 의미한다.

Ⅲ. 토의 및 결론

현대의 산업사회에서는 생산 시설이 점점 기계화 및 자동화되어가는 추세이지만, 아직도 많은 작업들이 작업자의 육체적 활동에 의해 수행되고 있다. 이러한 작업자들의 육체적 부담을 줄이고 WMSDs나 CVDs의 위험을 줄이기 위해서는 해당 작업의 EE를 파악하여 신체에 무리가 오지 않을 수준의 작업부하로 줄이거나 작업시간과 휴식시간을 조정하는 것이 필요하다. 따라서 이번 연구에서는 다양한 작업에 근무하는 근로자의 작업 중 EE를 심박수를 이용하여 측정하고, 업종별로, 자세별로, 주요작업별로 평균 작업 중 EE를 비교, 제시하였다.

지금까지 외국에서는 Ainsworth(1993a), Montoye(1996) 등의 연구나 ACGIH나 NIOSH에서 제시한 작업별 EE가 직무분류법의 자료로 사용되어 왔다. 국내에서는 벌목작업자, 자동차 조립작업자, 음료등짐 작업자의 육체적 작업강도에 관한 연구가 있었으며, 특정한 자세나 상황에 대한 연구로는 방진복 착용시, 쪼그려 앉은 자세, 상지의 자세에 따른 어깨근육의 문제 등에 대한 연구가 있었다. 이들 연구는 주로 실험실에서 진행되었거나 현장에서 측정한 경우 연구대상의 수가 제한적이다. 이번 연구에서는 국내에 소재하고 있는 11개 사업장의 근로자 515명을 대상으로 현장에서 실제 작업 중의 심박수를 이용하여 EE를 측정하였다.

연구 대상자의 일반적 특성들과 작업 중 EE를 비교하였을 때 일반적 특성들 중 연령과 근속년수에서 통계적으로 유의한 차이를 관찰할 수 있었다. 30세에서 39세의 연령은 현장에서 주로 가장 활발하게 생산활동을 하는 시기이며 주 작업도 육체적 활동이 많은 작업을 수행하기 때문일 것으로 생각된다. BMI가 25이상일 경우 EE가 높았다. 일반적으로 알려져 있는 BMI가 높을수록 같은 작업을 수행하더라도 EE가 높다는 사실과 일치한다(Hunter et al, 1966). 근속연수는 30세에서 39세의 연령이 대부분 근속연수가 10년 이상 14년 이하일 경우가 많으므로 연령과 같은 결과로 해석된다.

업종별로 작업 중 EE를 비교해 보았을 때 대형기계제조업이 가장 EE가 높았다. 대형기계제조업의 경우 인력물자취급작업 등이 작업의 빈도는 낮으나 무게가 무거운 부품을 취급하고 있고(김선자 등, 2005), 소재의 크기가 크고 취급하는 공구의 크기 또한 다른 업종에 비해 대형이며, 대부분의 작

Table 5. Relationship between energy expenditure and posture after adjusting age and body mass index

Variable	Parameter Estimate	Standard Error	p-value
Intercept	2.823	0.314	<.0001
Age (yrs)	-0.015	0.003	<.0001
Body mass index (kg/m2)	0.037	0.011	0.0014
Posture	0.301	0.020	<0.001

업이 서서 작업하거나 부적절한 자세가 많이 있어 작업 중의 EE가 높은 것으로 판단된다. 조선업의 경우 작업의 형태가 중량물을 들고 이동하는 작업이나 부적절한 자세를 유지해야 하는 경우가 많아 EE가 높은 것으로 판단된다(박동현과 한상환, 1998). 업종별 EE에 대해 Duncan's multiple range test를 실시하였을 때 대형기계제조업, 조선업, 자동차 부품 조립업, 완성차 조립업은 같은 그룹으로 평가되었고 병원 업종 중 앉아서 일하는 군은 다른 그룹으로 평가되어 생산직과 사무직은 차이가 있음을 알 수 있었다.

작업 중의 주요한 자세별로 EE를 비교하였을 때 계속해서 몸통을 굽히거나/펴거나/중량물을 들거나/던지기 작업이 EE가 가장 높았다. 일반적으로 작업 중 부적절한 자세나 인적 물자취급 작업(Manual Materials Handling, MMH)이 많은 경우 EE가 높다고 알려져 있으며(Garg et al, 1978) 이번 연구의 결과도 같다. Duncan's multiple range test를 실시하였을 때 계속적으로 몸통을 굽히거나/펴거나/중량물을 들거나/던지는 작업과 지속적이지 않게 불편한 자세에서 몸통을 굽히거나/펴거나 중량물을 들거나/던지기/삽질하기 작업이 각기 다른 그룹으로 평가되었고 계단을 오르거나 내림, 짐을 들고 걸음, 사다리를 오르거나/내려옴 편한 자세에서 몸통을 굽히거나/펴거나/중량물을 들거나/던지는 작업과 편하게 앉아있음, 불편한 자세로 앉거나 편하게 서있음, 서있거나 편한 자세에서 걸어 다니는 작업이 같은 그룹으로 평가되었다. 또한 연령과 BMI를 보정한 상태에서 가장 편한 자세를 1로하고, 가장 힘든 자세가 9로 하였을 때, 힘든 자세로 갈수록 에너지 소모량이 많아진다는 점을 확인할 수 있어, 작업자세가 에너지 소모에 중요한 변수이며 작업자세에 대한 중재필요성을 보여준다.

업종별로 주요한 작업을 분류하여 EE를 비교하였을 때 전체 23개 작업 중에서 조선업의 취부 작업이 가장 EE가 높았으며 다음이 조선업의 전기배관작업이었다. EE가 WMSDs의 원인이 된다는 점에서 본 연구와 조선업의 WMSDs의 발생율에 대해 조사한 연구(김상우 등, 2005)를 비교해보면, 김 등의 연구에서는 용접작업이 가장 WMSDs의 유병율이 높다고 하였지만 이번 연구에서는 취부작업, 전기배관작업이 작업 중의 EE가 높았다. 이는 WMSDs의 원인에는 작업강도 외에도 정적인 자세의 유지, 국소적인 힘의 사용, 부적절한 자세 등 다양한 원인이 영향을 미치며 용접작업의 경우 정적인 자세를 유지하는 시간이나 부적절한 자세의 비율이 높지만 이들 요인이 EE에는 반영되지 않아 이번 연구 결과와 다른 것으로 판단된다.

연구대상 전체의 평균 작업 중 EE는 4.9kcal/min으로 NIOSH의 8시간 작업 중 EE 허용기준에 가까운 결과였으며 대상자 515명 전체 중에서 202명(39.9%)이 기준을 초과하였다.

이 연구는 몇가지 제한점을 가지는 데, 먼저 여성 근로자는 제외되었다는 점이다. 여성은 키와 연령이 같은 남자에 비해 기초대사량이 6~10% 낮으며 남성과 체지방 비율이 차이가 있어 작업을 할 때에 EE의 차이가 있고 과도한 작업을 할 때에 나타나는 생리적인 반응이 성별에 따라 차이가 있으므로 (Forberg and Pedersen, 1984) 여성을 위한 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다. 또한 무거운 공구를 이용하여 계속적으로 작업을 하는 (예, 곡괭이질) 작업자는 포함되지 않았다. 이러한 형태의 근로자에 대한 작업 중 EE는 이번 연구에서는 추정할 수가 없었으며 앞으로의 연구에서 다양한 작업을 포함하여 진행할 필요가 있을 것으로 판단된다. 또한 측정한 EE를 NIOSH의 기준과 비교하였는데, NIOSH의 작업강도 기준이 한국인에 적합할 것으로는 판단되지 않으나, 선행연구가 없어 그대로 기준으로 삼은 점은 본 연구의 한계점이며 한국인에 적합한 에너지 소모 기준에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

이번 연구에서는 심박수를 이용한 간접측정법으로 4개 업종, 23개 작업의 515명의 실제 근로자의 작업 중의 EE를 측정하고 주요 업종별, 작업 중의 자세별, 주요 작업별로 작업 중의 EE를 제시하였다. 본 연구의 조사 대상 한국의 생산직 남성 작업자는 39.9%가 NIOSH에서 제시하는 8시간 작업의 EE 허용기준을 초과하는 것으로 나타나, 작업강도가 높은 작업이 많은 것으로 판단되며 특히 EE가 높게 관찰된 조선업의 전기배관작업, 취부작업, 대형기계가공업종의 작업, 자동차 부품 가공업, 완성차 조립업의 주조작업이나 완성차 조립업의 시험작업, 엔진조립 작업은 특히 EE가 높게 나타나 이들 작업에 대해서는 몸통을 굽히거나/펴는 동작의 빈도와 중량물을 드는 빈도나 시간을 줄이는 등 대책을 마련할 필요가 있다. 본 연구에서는 작업자세별, 업종별 및 주요 작업별 EE와 보정식을 제시하였으므로, 향후 한국의 생산직 근로자를 대상으로 직무분류법 등으로 EE를 간접적으로 추정하는 경우에 이 연구의 결과를 활용하게 되기를 바란다.

REFERENCES

강건우, 박수규. 벌채작업에서의 작업강도 측정연구. 한국임학회지 1996; 85(3): 396−408

권오경, 登倉尋實. 연구밀폐형 방진복 착용시 작업강도에 따른 온열생리적 반응 및 젖산농도에 대한 Head Cooling 의 영향. 한국생활환경학회지 1998; 5(1): 73−82

김상우, 신용철, 강동묵. 조선업에서 산업재해로 인정된 근골격계질환의 특성. 한국산업위생학회지 2005; 15(2):

114−23
김선자, 신용철, 김부운, 김현동, 우지훈, 강동묵, 이현석. 선박용 엔진 제조업 들기작업의 인간공학적 위험 평가를 위한 세가지 방법 비교. 한국산업위생학회지 2005; 15(2): 104−13
김정룡, 박지수, 박창순, 편홍국. 작업자세에 따른 어깨근육의 작업부하 측정. 대한산업공학회지 1999; 25(2): 266−73
김재원, 이준우, 박범진, 송태영. 체인톱을 이용한 낙엽송 벌목작업에서의 작업강도분석, 한국임학회지 1998; 87(2): 121−30
김재현, 김홍기. 작업부하에 따른 생리적 반응들에 관한 연구. 산업경영시스템학회지 2002; 25(1): 9−13
김철홍, 김태광. 한국 여성의 육체적 작업능력(PWC)에 관한 연구. 98년 추계 인간공학회 학술 논문집 1998.
박동현, 한상환. 조선업 근로자의 누적외상성질환 실태와 누적외상성질환 범용 작업위험도 평가도구를 이용한 작업분석 한국산업위생학회지 1998; 8(1): 24−35
산업재해통계. 한국산업안전공단, 2000−2003.
이유정, 여윤신, 정민근. 자동차 조립라인에서의 볼트체결 작업에 대한 생리적 작업 부하 평가. 한국경영과학회 학술대회논문집 1998; 1: 1−6
이인석, 정민근. 쪼그려 앉은 작업자세에서의 작업부하 평가. 대한산업공학회지 1998; 24(2): 167−73
이준엽, 김철홍. 자동차 조립작업 시 작업자세, 작업/휴식 비율, 작업형태에 따른 작업부하의 변화에 관한 연구 산업경영시스템학회지. 2001; 24(2): 167−73
정민근, 이유정, 이인석. 음료 운반 등짐 작업의 생리적 작업부하 평가. 대한산업공학회지 2000; 26(2): 51−64
ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists): 1994-1995 Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices. ACGIH, Cincinnati, Ohio. 1994.
Ainsworth BE, Jacobs DR Jr, Leon AS, Richardson MT, Montoye HJ. Assessment of the accuracy of physical activity questionnaire occupational data. J Occup Med 1993a; 35(10): 1017−27.
Ainsworth BE, Haskell WL, Leon AS, Jacobs DR Jr, Montoye HJ, Sallis JF, Paffenbarger RS Jr. Compendium of physical activities: classification of energy costs of human physical activities. Med Sci Sports Exerc 1993b; 25(1): 71−80
Cole DC, Ibrahim SA, Shannon HS, Scott F, Eyles J. Work correlates of back problems and activity restriction due to musculoskeletal disorders in the Canadian national population health survey(NPHS) 1994-5. Occup Environ Med 2001; 58: 728−34
Froberg K, Pedersen PK. Sex differences in endurance capacity and metabolic response to prolonged, heavy exercise. Eur J Appl Physiol Occup Physiol 1984; 52(4): 446−50
Garg A, Chaffin DB, Herrin GD. Prediction of metabolic rates for manual materials handling jobs. Am Ind Hyg Assoc J 1978; 39(8): 661−74
Guo HR. Working hours spent on repeated activities and prevalence of back pain. Occup Environ Med 2002; 59: 680−88
Hunter GR, Weinsier RL, Darnell BE, Zuckerman P, Goran MI. Racial differences in energy expenditure in men of different ages. J Gerontol 1966; 21: 581−7
LaPorte RE, Montoye HJ, Caspersen CJ. Assessment of physical activity in epidemiologic research: problems and prospects. Public Health Rep 1985; 100(2): 131−46
Lee S, Colditz G, Berkman L, Kawachi I. A prospective study of job strain and coronary heart disease in US women. Int J Epidemiol 2002; 31(6): 1147−53
Montoye HJ, Kemper HCG, Saris WHM, Washburn RA. Measuring Physical Activity and Energy Expenditure. Champaign, IL:Human Kinetics 1996.
NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health) Applications Manual for the Revised NIOSH Lifting Equation 1981.
Saris WH, Binkhorst RA. The use of pedometer and actometer in studying daily physical activity in man. Part I: reliability of pedometer and actometer. Eur J Appl Physiol Occup Physiol 1977; 37(3): 219−28
Uchiyama S, Kurasawa T, Sekizawa T, Nakatsuka H. Job strain and risk of cardiovascular events in treated hypertensive Japanese workers: hypertension follow-up group study. J Occup Health 2005; 47(2): 102−11